

Valutazione del motion control su piattaforme commerciali per l'automazione: come

L'insieme delle funzionalità che una moderna macchina automatica deve implementare rende la progettazione della logica di controllo un compito difficile che coinvolge competenze multidisciplinari



Stefano Lovisetto, Matteo Sartini

L'emulazione del comportamento dei tradizionali organi meccanici è una tipica funzionalità che il sistema di controllo è chiamato a espletare. Il motion control è l'insieme delle tecnologie e dei dispositivi che permettono di governare gli organi meccanici in movimento della macchina. La precisione nel controllo del movimento rappresenta un fattore chiave che influisce fortemente sulle prestazioni della macchina. Oggi ci troviamo di fronte a un mercato ricco di soluzioni commerciali per il motion control, con fornitori che propongono architetture di controllo alternative, centralizzate o decentralizzate. Davanti a questa ampia offerta di soluzioni diventa difficile per l'utilizzatore finale scegliere la piattaforma che meglio si adatta alla propria applicazione. La domanda che ci si pone è: come posso analizzare il motion control per capire quale soluzione sia la migliore per la mia applicazione e cosa vuol dire effettuare benchmarking di sistemi di motion control? La risposta è articolata e, vista la complessità dell'argomento, va analizzata da più punti di vista. L'obiettivo principale di un'attività di benchmarking di piattaforme commerciali per l'automazione è quello di analizzare le performance del motion control attraverso la definizione e l'esecuzione di un insieme di test che possano confrontare e valutare le soluzioni disponibili sul mercato e individuare

quelle più adatte a risolvere un determinato tipo di problema, rispondendo adeguatamente ai requisiti e alle specifiche desiderate per quell'applicazione. Quando parliamo di motion control ci sono tre aspetti principali da considerare: le funzionalità e il set di comandi messi a disposizione dall'utente; il carico computazionale che l'inserimento di assi aggiunge al sistema complessivo; le performance hardware dinamiche legate all'inseguimento di traiettorie e alla gestione dei sincronismi.

Funzionalità e set di comandi

Tutte le piattaforme commerciali per l'automazione integrano nativamente il motion control. Ciò significa che l'utente acquistando il pacchetto completo di un solo fornitore (editor software + controllore + assi) è in grado di movimentare gli assi elettrici direttamente dall'ambiente di sviluppo, facendo eseguire ai motori movimenti più o meno complessi. Il progettista software, che ha il compito di sviluppare il progetto di controllo della macchina automatica, si interfaccia all'editor software specifico, messo a disposizione da ogni singolo fornitore, e in linea di principio non dovrebbe preoccuparsi di gestire i dettagli implementativi a basso livello per far funzionare la piattaforma. Infatti la gestione della schedulazione dei processi, la comunicazione tramite il bus di campo, l'inseguimento dei profili di moto,

control ali fare?



la gestione delle motorizzazioni, sono alcune delle funzionalità tipicamente già fornite da una piattaforma commerciale. Queste attività sono totalmente 'trasparenti' al programmatore che dovrà preoccuparsi esclusivamente di configurarle correttamente in fase di start-up. In aggiunta alle funzionalità di configurazione e gestione degli assi, è fondamentale esaminare il set di comandi messi a disposizione dell'utente: possono essere semplici comandi standard per la movimentazione di assi singoli o di assi sincronizzati (ad esempio: comandi PLCopen), oppure comandi avanzati ottimizzati per la specifica piattaforma (ad esempio: la possibilità di decentralizzare la gestione del motion sull'azionamento; di implementare funzionalità avanzate di taglio al volo, di controllo del ballerino, di messa in passo). L'analisi del set di comandi fa emergere il trade-off tra portabilità e prestazioni che si genera nella scelta di implementare funzionalità attraverso comandi standard riutilizzabili o comandi specifici ottimizzati sulla piattaforma: quale degrado delle performance siamo disposti a tollerare in cambio di un set di comandi standard che permetta di sviluppare applicazioni portabili da una piattaforma di controllo all'altra?

Carico computazionale del motion control

Per il funzionamento di una macchina automatica non è sufficiente gestire solo le motorizzazioni, ma anche l'intera logica di controllo:

funzionamento nominale; supporto alle segnalazioni; controllo qualità; diagnostica ecc. Ognuna di queste attività richiede uno sforzo computazionale, proporzionale alla quantità di dati da processare in realtime. Nella gestione della capacità computazionale della CPU e del bus di campo devono inoltre rientrare tutti quei dispositivi che sfruttano le stesse risorse del motion per il controllo degli assi (ad esempio: I/O remoti e pannelli operatore). Ogni elemento che si interfaccia con il bus richiede una banda che è funzione della quantità di dati realtime che dovrà scambiare con il suo controllore. È quindi importante notare come sia cruciale gestire in maniera efficiente la capacità computazionale della CPU e le risorse del bus di campo. Ogni piattaforma, in funzione dell'architettura e della tipologia dei dispositivi utilizzati, ha una propria politica di gestione di queste risorse. Nonostante le differenti filosofie di gestione delle risorse di calcolo e di trasmissione dei dati, è comune in tutte le piattaforme di automazione concedere all'utente la possibilità di gestire solo una quota delle risorse del sistema. Questo perché parte delle risorse vengono impegnate in attività pertinenti alla gestione del bus di campo e al controllore, che possiamo denominare 'attività di gestione del sistema'. Nel caso del bus di campo le attività di sistema coincidono con gli strati funzionali utilizzati nel protocollo di comunicazione implementato dallo specifico fornitore, che compongono la piramide del modello ISO-OSI. Le attività di sistema pertinenti al controllore sono invece, ad esempio: lo scheduling dei processi, l'interazione con l'immagine del processo, le politiche di gestione della cache runtime. Tutto ciò che l'utente va a inserire e programmare all'interno del progetto di controllo rientra infine nelle 'attività utente'.



Fig. 1 - Processi attivi con motion disattivo o attivo

Nelle applicazioni che prevedono la presenza di molti assi legati tra loro da relazioni di sincronismo, le attività di motion control risultano estremamente onerose per le risorse di sistema, con una forte ricaduta su quelle che restano a disposizione sia per le attività di gestione del si-

stema sia per le attività utente (figura 1). È quindi necessario poter stimare a priori quanto una determinata configurazione degli assi incida sulle risorse del sistema attraverso una valutazione dell'influenza che tale configurazione ha sulle performance di CPU e bus di campo. La valutazione viene effettuata tramite un test di laboratorio che mira a ottenere un andamento del comportamento del sistema (figura 2) all'aumentare del numero di assi reali e virtuali configurati.

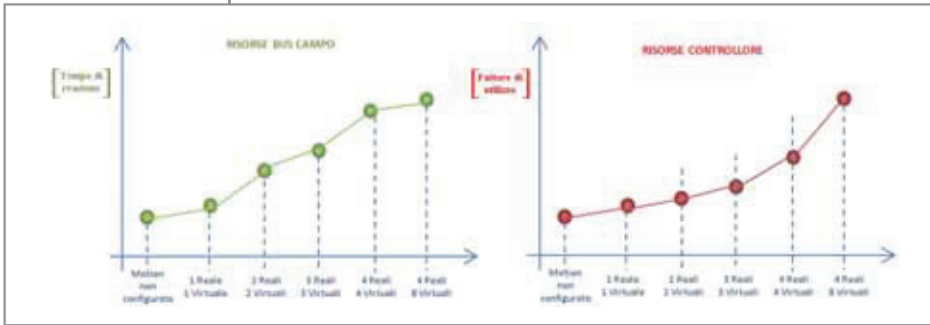


Fig. 2 - Trend di comportamento dei sistemi di automazione all'aumentare del numero di assi

Il test consiste in un insieme di routine che analizzano il sistema al variare del numero di assi configurati, al crescere della complessità delle camme e con dinamiche sempre più spinte. La possibilità di stimare il consumo delle risorse di un sistema a fronte di una determinata configurazione degli assi è utile nella pratica per vari motivi. Il primo che viene in mente è la scelta del controllore: c'è la necessità di realizzare una macchina con un elevato numero di assi e un'elevata dinamica → i controllori che già in questa fase mostrano di non riuscire a soddisfare le specifiche non vengono presi in considerazione. Analogo ragionamento vale per il bus di campo: si deve gestire una rete di molti dispositivi con tempistiche molto stringenti → sarà necessario che il bus di campo sia all'altezza dei requisiti in termini di determinismo e tempi di reazione. Oppure si immagina una macchina automatica che presenta numerosi moduli opzionali, che vengono di volta in volta aggiunti per soddisfare le esigenze dell'end user: in questo caso il livello di personalizzazione richiede una flessibilità non solo del software di macchina, ma anche dell'hardware utilizzato per il controllo e l'attuazione delle automazioni. È necessario quindi avere del margine sulle risorse messe a disposizione dal sistema e tarare controllore e bus di campo sulla configurazione di macchina completa, ovvero quella che prevede l'architettura più dispendiosa in

termini di risorse. In generale è chiaro che migliorare l'efficienza di una macchina significa dimensionare bene le sue parti. In particolare gli azionamenti e tutta la catena cinematica sono fondamentali per quel che riguarda il consumo energetico. L'altra faccia della medaglia è rappresentata dall'efficienza dell'intelligenza. Poiché l'intelligenza ha un costo è necessario ottimizzarla. Per questo le valutazioni hardware in termini di impatto sul controllore e sul bus di campo rivestono un ruolo non secondario per chi vuole realizzare macchine efficienti e intelligenti.

Performance hardware dinamiche

L'ultimo aspetto che prendiamo in considerazione riguarda le performance del motion control relative alle prestazioni dinamiche, legate, in questo caso specifico, all'errore di inseguimento su certe traiettorie e all'errore dei sincronismi, cioè errori dovuti a ritardi o posizionamenti relativi errati quando gli assi devono operare in camma elettronica oppure con funzionalità di gearing. Per poter analizzare le prestazioni dinamiche relative all'errore di inseguimento rispetto a traiettorie predefinite è importante definire un benchmark meccanico di riferimento.



Fig. 3 - Benchmark meccanico di riferimento

Nel nostro caso il benchmark meccanico di riferimento (figura 3) consiste in un carico collegato per mezzo di un giunto a soffietto (accoppiamento rigido) all'albero del motore della piattaforma con la quale si vogliono eseguire i test. Il carico è costituito da un albero condotto al cui estremo è fissato un volano. L'albero condotto è montato su un cuscinetto a sfere (fanno parte della struttura portante) ed è in grado di ruotare attorno al proprio asse. Per testare lo stesso sistema meccanico su diverse piattaforme al fine di analizzare in maniera accurata il comportamento del sistema di motion control (e in particolare dell'azionamento) è necessario non soltanto disporre del modello



del carico (modello noto), ma anche conoscere tutti i parametri del modello (attriti, inerzie, sbilanciamenti ecc...). Nel caso dell'inseguimento di traiettoria l'interesse è focalizzato sul fatto che l'inseguimento avvenga con il minor errore possibile rispettando la traiettoria specificata. Nelle situazioni reali l'azionamento inseguirà la traiettoria ideale sempre con un certo errore (errore di inseguimento). In generale, la differenza tra la traiettoria ideale e quella reale può essere causata da due fattori: anelli di controllo tarati in maniera non adeguata, la taratura, ad esempio, può essere effettuata tramite una procedura automatica che potrebbe identificare il carico in maniera non corretta; limitazioni dell'azionamento, come limitata banda passante, assenza di filtri di compensazione ... Le vere cause dell'errore di posizione possono essere individuate solo attraverso l'analisi dei dati sperimentali conoscendo l'architettura dell'azionamento e del carico. Per valutare le prestazioni delle diverse soluzioni commerciali il primo passo consiste nell'identificare il carico con un approccio gray-box, partendo da un suo modello teorico equivalente nel quale sono inseriti i dati noti riguardanti il sistema meccanico (forniti dai cataloghi) e le proprietà dei pezzi (masse, inerzie, coefficienti di smorzamento interni ecc...). Durante questa fase di identificazione ci si avvale dei risultati ottenuti attraverso prove statiche e prove dinamiche eseguite sul carico reale. Una volta eseguita la modellazione del sistema sulla base delle informazioni note o comunque ricavabili (ad esempio le inerzie che dipendono dalla geometria e dal materiale di cui sono fatti i pezzi) si cominciano una serie di prove statiche sul sistema reale per la determinazione in via sperimentale di quei parametri (da integrare successivamente nel

modello teorico), che non sono facilmente reperibili da catalogo e che dipendono dalle condizioni di funzionamento (ad esempio: attrito di primo distacco, attrito coulombiano, attrito viscoso e altre forze dissipative non modellabili a priori). L'attrito di primo distacco è facilmente identificabile applicando gradini di coppia via via crescenti all'albero del motore collegato al carico. Si parte da valori di coppia molto bassi per arrivare a quel valore per cui il sistema abbandona la situazione di quiete. Per poter capire se sono presenti squilibri di tipo statico nel carico, si verifica che il valore di coppia trovato sia in grado di movimentare il sistema anche da posizioni iniziali diverse. L'attrito viscoso e l'attrito coulombiano possono essere identificati mediante prove che mettono in relazione coppia e velocità. Per ogni valore di velocità è possibile conoscere

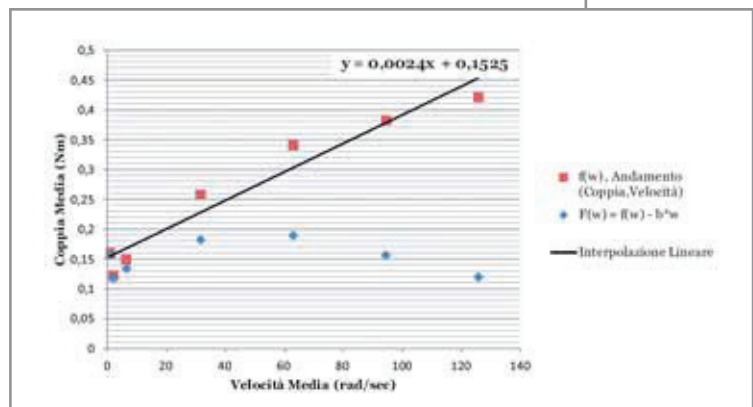


Fig. 4 - Andamenti coppia-velocità al variare della velocità

il valore relativo di coppia da applicare. Partendo da questi dati è possibile ricavare un grafico come quello mostrato in figura 4. La pendenza 'm' della retta che approssima



Foto tratta da www.morquieff.com

la serie di punti rappresenta la somma dei coefficienti di attrito viscoso nei cuscinetti, mentre il coefficiente 'q' della stessa retta è indicativo della forza di attrito coulombiano cui è soggetto il carico in moto. Una volta ottenuto per via sperimentale il valore del coefficiente di attrito viscoso totale 'b', è possibile calcolare per ciascuna prova il valore di quella forza dissipativa (in questo caso sempre una coppia) che tiene conto della presenza di attrito coulombiano e di altri effetti (inerziali e di altro tipo non modellati). I valori determinati sperimentalmente con le prove statiche (forza di attrito di primo distacco, coefficiente di attrito viscoso e andamento delle forze dissipative) vengono infine inseriti nel modello teorico equivalente per completare il modello del sistema reale. Una volta completato il modello del sistema reale attraverso le prove statiche, vengono implementate una serie di prove di tipo dinamico. Queste possono essere divise in due categorie, a seconda di quanto ottenuto dalle prove statiche. Infatti ci si può trovare in due principali situazioni: assenza di disturbi di coppia rilevanti, presenza di disturbi di coppia rilevanti non identificati con le prove a velocità costante. Se ci si trova nel primo caso, le prove dinamiche servono a ottenere un'identificazione più dettagliata del modello. Se invece si manifesta la seconda condizione, tali prove sono volte alla rappresentazione accurata dei disturbi e allo studio della loro origine. La fase preliminare di identificazione permette di ottenere un modello accurato del sistema meccanico oggetto di studio, comprensivo della funzione di trasferimento che rappresenta la relazione tra la coppia applicata al carico e la sua velocità. Con queste informazioni è possibile definire diversi scenari di controllo applicabili all'azionamento, che serviranno in seguito per analizzare, in ambiente Matlab/Simulink, le performance dell'azionamento confrontando i dati ricavati dal controllo implementato sul modello simulativo e quelli ricavati dal controllo reale sull'azionamento.

Benchmarking di motion control

Nel corso degli anni si è assistito a un sempre maggiore impiego di assi elettrici in sostituzione dei dispositivi meccanici, per quel che riguarda la realizzazione dei sincronismi. La complessità della macchina si sta spostando sempre più dalla meccanica all'elettronica e al controllo software. Questo permette di ottenere nuove funzionalità e più flessibilità, a scapito del costo di integrazione della gestione della complessità. Se infatti il costo della potenza di calcolo dei processori è diminuito nel tempo seguendo la legge di Moore, il fatto di aggiungere sempre nuove funzionalità, far interagire un numero maggiore di dispositivi, richiedere nuovi standard di qualità, porta a dover effettuare un notevole lavoro. Questo lavoro di integrazione e di gestione della complessità si traduce nell'ottenere piattaforme commerciali sempre più 'intelligenti'. In quest'ottica il lavoro di integrazione e gestione del motion control risulta uno degli aspetti chiave per il successo di una piattaforma commerciale di automazione. Nel mondo del packaging, in particolare, requisiti dinamici sul motion control sono molto spinti. Per questo è fondamentale analizzare i diversi sistemi di motion control e capire quale sia il più adatto per la nostra applicazione. In questa articolo si è voluto mostrare alcuni aspetti importanti di cosa 'significa' effettuare benchmarking di motion control. Partendo dall'ultimo punto si è discusso come costruire un benchmark meccanico per poter analizzare le performance dei vari sistemi di automazione. L'altro aspetto fondamentale racchiuso negli altri due punti è l'importanza dell'infrastruttura di controllo e gestione delle funzionalità messe a servizio per l'utente, e ormai è su questo punto che si è spostata la differenziazione tra i vari sistemi di motion control.

Consorzio LIAM – Laboratorio Industriale Automazione per le Macchine automatiche per il packaging - www.liamlab.it